

УДК 621.007.52

И. И. ПАВЛЕНКО

АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОБОТОВ С КИНЕМАТИКОЙ РУКИ ВПП

В основу подавляющего большинства роботов положена кинематика руки, состоящая из трех степеней свободы движения со структурой $B \parallel \Pi \perp \Pi$ [2], позволяющая перемещать схват в объемной цилиндрической рабочей зоне (рис. 1, а). Присоединение к кинематике руки дополнительных степеней свободы кисти позволяет расширить функциональные возможности промышленных (ПР) роботов. Так, при добавлении к руке ротационной кинематической пары кисти B , робот, сохранив те же способности по перемещению, имеет возможность изменять ориентацию плоскости схвата вокруг его оси во всех точках рабочей зоны, оцениваемую показателем $S_{\Pi} = \varphi/2\pi$, где φ — угол поворота кисти.

Если к руке присоединить вращательную кинематическую пару кисти B' (рис. 1, б), то ПР приобретает возможность изменять ориентацию оси схвата. Наряду с появлением ориентирующих возможностей добавление пары B' изменяет возможности по перемещению. Так, если угол поворота в паре B' $\alpha < 180^\circ$ ($\alpha_1 \geq 90^\circ$, $\alpha_2 \geq 90^\circ$), то полная рабочая зона в базовой плоскости (рис. 1, б)

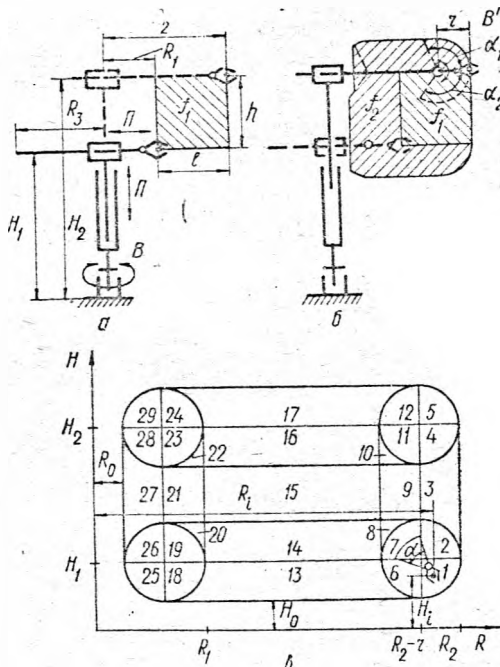


Рис. 1. Кинематические схемы ПР (а, б) и рабочая зона в базовой плоскости (в).

$$f = f_1 + f_2,$$

где $f_1 = lh$ — площадь основной рабочей зоны (равна рабочей

зоне ПР без кисти (рис. 1, а) или с кистью (рис. 1, б), но с неизменным ее положением), зависящей от горизонтального l и вертикального h перемещений руки; f_2 — дополнительная рабочая зона, вызванная вращением в кинематической паре кисти.

Тогда рабочая зона

$$f = lh + 2lr + hr(1 - \cos \alpha_2) + \pi r^2 (\alpha_1 + \alpha_2)/360 - \\ - 0,5 r^2 (\sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \cos^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2).$$

При

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 180^\circ \quad f = lh + 2r(l + h) + \pi r^2.$$

При

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ \quad f = lh + r(2l + h) + 0,5\pi r^2.$$

Зная формулы рабочих зон (при других соотношениях параметров работы l, h, r , а будут другие конфигурации рабочих зон, а следовательно, и другие формулы, что учтено в последующих выводах), проанализируем влияние геометрических и кинематических параметров руки и кисти ПР на возможности перемещения центра схвата. При выполнении этих исследований обычно рекомендуется использовать показатель перемещения [1], представляющий отношение реальных перемещений к теоретически возможным, которые обеспечиваются идеализированной кинематической схемой ПР. Если относительно реальных перемещений схвата неясностей нет, так как эти значения по представленным или другим формулам сравнительно просто вычислять, то в отношении установления теоретически возможных перемещений необходимо ввести определенные условия: степень идеальности схемы, учет площадей (аналогично объемам), занимаемых обратным вылетом руки R_2 , площади расположенной под рукой $(R_2 + R_3)H_1$, площади $R_1 h$ и т. п. Таким образом, существует значительное многообразие возможных вариантов оценки перемещений ПР.

Ограничимся исследованием влияния геометрических и кинематических параметров ПР на размер рабочей зоны (перемещение) f по отношению к зоне f_1 , в которой перемещается схват при неподвижной кисти, или когда длина кисти $r = 0$. Такая характеристика более однозначна и обеспечивает достаточно качественную оценку возможностей ПР по перемещению схвата.

Зависимости изменения рабочей зоны (f/f_1) от относительной длины кисти (r/R_2) при различных перемещениях руки (h/l) и углах поворота кисти (α) показаны на рис. 2, а. Кривая 1 представлена при $l = h = 0,5 R_2$, $\alpha = 360^\circ$; кривая 2 при $l = 0,8 R_2$, $h = 0,4 R_2$, $\alpha = 360^\circ$; кривая 3 при $l = 0,8 R_2$, $h = 0,4 R_2$, $\alpha = 180^\circ$ ($\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$), кривая 4 при $l = 0,8 R_2$, $h = 0,4 R_2$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$. Все зависимости представлены при $R_2 = \text{const}$, а их длина на рис. 2 соответствует интервалу r/R_2 , в пределах которого удовлетворяются приведенные выше условия. Анализ этих зависимостей указывает на увеличение рабочей зоны с ростом длины кисти. Интенсивность этого увеличения повышается с ростом угла поворота кисти и уменьшением отношения h/l . Подобные закономерности имеют

место и при исследовании влияния на размер рабочей зоны (f/f_1) длины кисти по отношению к перемещению руки ПР (r/l).

Для исследования влияния перемещения l/R_2 на изменение рабочей зоны в формулу отношения площадей f/f_1 введем подстановку $r=R_2-l-R_0$ (см. рис. 1, а) и при $\alpha=360^\circ$ получим

$$\frac{f}{f_1} = \frac{1}{lh} + (l+h)(R_2-l-R_0) + 0,25\pi(R_2-l-R_0)^2.$$

Построенная по этой формуле зависимость (рис. 2, б) при $\alpha=360^\circ$ $h=0,4 R_2$, $r=0,1 R_2$ (кривая 1) указывает на уменьшение

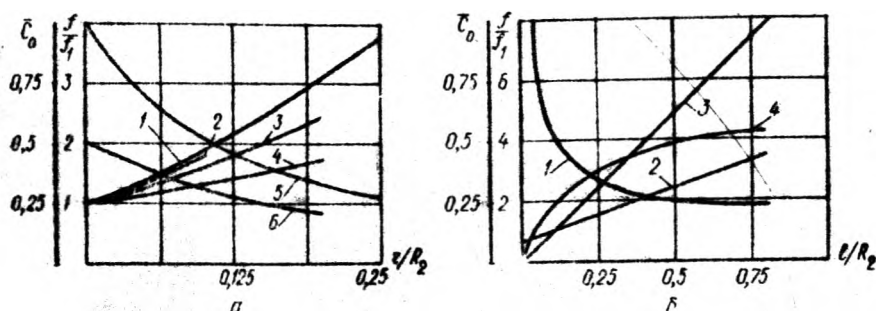


Рис. 2. Зависимости влияния геометрических параметров ПР r/R_2 (а) и l/R_2 (б) на возможности перемещения f/f_1 и ориентации C_0 схвата.

роста отношения рабочих зон f/f_1 . Если с удлинением хода руки l/R_2 относительный размер рабочей зоны уменьшается, то полный размер рабочей зоны f возрастает. Так, при приведенных исходных условиях и $l=0,1 R_2$ рабочую зону можно принять равной единице ($f=1$). Тогда дальнейшее увеличение l ведет к практически линейному росту $f/f_1=0,1 R_2$ (прямая 2) и такому же линейному, но более интенсивному росту основной зоны f_1 (прямая 3), если также принять, что при $l=0,1 R_2$, $f_1=1$.

Зависимость рабочих зон от угла поворота кисти представлена на рис. 3, а. Построение выполнено при условии, что α вначале изменяется от 0° до 90° с вращением кисти от горизонтального положения до вертикального вниз, затем α увеличивается до 180° с поворотом кисти вверх и вниз на 90° и дальнейшим симметричным поворотом кисти от горизонтального положения до 360° , а также при следующих исходных данных: кривая 1 ($l=0,8 R_2$, $h=0,4 R_2$, $r=0,1 R_2$); кривая 2 ($h=l=0,5 R_2$, $r=0,1 R_2$), кривая 3 ($h=l=0,5 R_2$, $r=0,25 R_2$). Из всех этих зависимостей следует, что увеличение угла поворота кисти обеспечивает рост рабочей зоны ПР.

Ориентирующие возможности ПР, как и возможности его перемещений, можно определять по линиям, плоскостям и в объеме. Достаточно полную оценку ориентирующих возможностей получим при перемещении центра схвата в базовой плоскости. Для проведения этих исследований разделим обеспечиваемую ПР рабочую зону на участки (см. рис. 1, а), в пределах которых угол

ориентирующих движений оси схвата определяется по одним формулам. Так, угол ориентирующих движений α для любых точек 1-го участка (на рис. 1, в показаны предельные положения кисти для одной из точек этого участка) определяется по формуле

$$\alpha = \arccos \frac{(R_1 + r - R_2)r}{r^2} - \arcsin \frac{(H_1 - H_2)r}{r^2}.$$

Среднее значение ориентирующих движений оси (сервис оси) схвата

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{S_1} \iint C_0 dS_1 = \frac{1}{2\pi S_1} \iint \arccos \frac{R_1 + z - R_2}{r} dx dy - \frac{1}{2\pi S_1} \iint \arcsin \frac{H_1 - H_2}{r} dx dy.$$

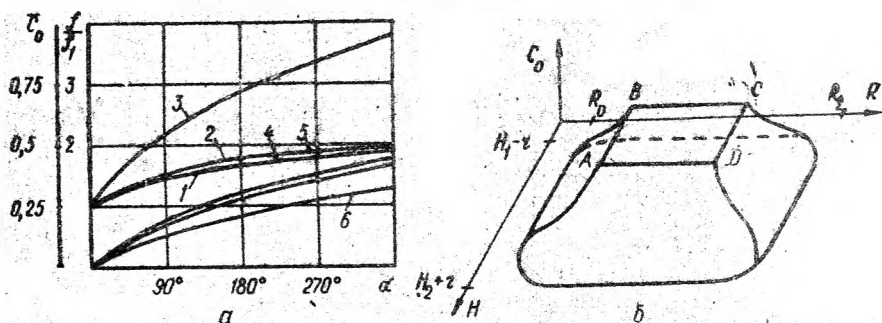


Рис. 3. Зависимости перемещения f/f_1 и ориентации C_0 схвата от угла поворота кисти (а) и полная картина ориентирующих движений оси схвата для базовой плоскости (б).

Интегрируя эти уравнения, окончательно получаем значение среднего осевого сервиса по первому участку

$$\bar{C}_0 = r^2/4\pi S_1,$$

где $S_1 = \pi r^2/4$ — площадь первого участка. Тогда $\bar{C}_0 = 1/\pi^2$.

Численное значение среднего угла ориентирующих движений по этому участку $\alpha_{ср} \approx 36,5^\circ$.

Аналогично вычислены значения среднего осевого сервиса по остальным участкам. Полная картина ориентирующих движений для рассматриваемой базовой плоскости (см. рис. 1, в) показана на рис. 3, б. Так, если принять условие, что кисть допускает полное вращение на 260° , то в пределах 15-го участка (на рис. 3, б в пределах прямоугольника $ABCD$) ориентирующие возможности ПР $\bar{C}_0 = 1$. Подобным образом определены ориентирующие возможности ПР при других формах рабочих зон и углах поворота кисти.

Используя полученные формулы, определяем среднее значение ориентирующих возможностей по всей базовой плоскости:

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^n C_i S_i,$$

где \bar{C}_i — среднее значение сервиса i -го участка с площадью S_i ;
 f — общий размер базовой плоскости.

После вычислений (при $\alpha=360^\circ$) окончательно получим

$$\bar{C}_0 = \frac{lh}{lh + 2r(l+h) + \pi r^2}.$$

При повороте кисти на 180° (вверх и вниз на 90°) сервис по базовой плоскости

$$\bar{C}_0 = 0,5 \frac{lh}{lh + r(2l+h) + 0,5\pi r^2}.$$

При повороте кисти на 90° вниз

$$\bar{C}_0 = 0,25 \frac{lh}{lh + r(l+h)}.$$

Из полученных формул следует важный вывод, что средние ориентирующие возможности по исследуемой плоскости равны отношению площади, в которой перемещается схват при неподвижной кисти (или кисти с длиной $r=0$), к общему размеру рабочей зоны (базовой плоскости), умноженному на относительный поворот кисти ($\alpha/360^\circ$). Таким образом, осевой сервис робота представляет величину, обратную отношению перемещений f/f_1 . Поэтому зависимости ориентирующих возможностей робота от геометрических и кинематических параметров также будут обратно пропорциональны зависимостям перемещений, представленным на рис. 2 и 3.

В частности, зависимости \bar{C}_0 от r/R_2 при $l=h=0,5 R_2$, $\alpha=360^\circ$ (кривая 5) и при $l=0,8 R_2$, $h=0,4 R_2$ и $\alpha=180^\circ$ (кривая 6), показанные на рис. 2, а, подтверждают это. В целом из построенных зависимостей следует, что с увеличением длины кисти рабочая зона возрастает на столько, на сколько произойдет уменьшение ориентирующих возможностей ПР. Если оценить общие двигательные возможности ПР (K_d) как произведение изменения перемещений (рабочей зоны) $K_n=f/f_1$ на длину ориентирующих движений оси схвата \bar{C}_0 по этим зонам (площадям) ($K_d=K_n\bar{C}_0$), то для каждого значения α получим постоянное значение K_d при различных размерах кисти. При $\alpha=360^\circ$ $K_d=1$; $\alpha=180^\circ$; $K_d=0,5$; $\alpha=90^\circ$, $K_d=0,25$.

Таким образом, выбор геометрических и кинематических параметров ПР необходимо выполнять с учетом его целевого назначения и других факторов, на которые оказывают влияние эти параметры. А ориентировочное значение относительной длины кисти может быть в пределах $r/R_2=0,1 \dots 0,25$. Меньшие значения следует принимать для роботов, которые должны иметь более высокие ориентирующие движения, и наоборот, а требуемые перемещения обеспечиваются соответственно горизонтальным и вертикальным ходами руки.

К этому следует добавить, что установленная обратная зависимость между K_n и \bar{C}_0 позволяет не производить сложных рас-

четов по определению ориентирующих движений, а достаточно просто определять значения K_n и по ним, как обратным величинам, вычислять сервис робота ζ_0 .

Влияние относительного перемещения руки l/R_2 на ζ_0 представлено на рис. 2, б кривой 4 при $h=0,4 R_2$, $r=0,1 R_2$, $\alpha=360^\circ$. Из основных зависимостей рис. 2, б следует, что увеличение длины хода руки повышает как общую рабочую зону ПР, так и его ориентирующие возможности, и перемещение руки должно быть не менее 0,5...0,7.

Зависимости ориентирующих возможностей ПР от угла поворота кисти представлены на рис. 3, а при следующих условиях: $l=0,8 R_2$, $h=0,4 R_2$, $r=0,1 R_2$ (кривая 4); $l=h=0,5 R_2$, $r=0,1 R_2$ (кривая 5); $l=h=0,3 R_2$, $r=0,25 R_2$ (кривая 6). Построения выполнены при аналогичных условиях, как и для зависимостей f/f_1 от α . Увеличение угла поворота кисти увеличивает возможные перемещения ПР и его ориентирующие движения. Интенсивность роста этих характеристик более значительна в начальный период увеличения α . При увеличении α свыше 180° этот рост снижается. Поэтому угол поворота в кинематической паре кисти, как по показателям перемещений, так и ориентации схвата, следует ограничивать, если отсутствуют на то специальные требования, в пределах $180 \dots 220^\circ$.

Все рассмотренные выводы в основном совпадают с оценками, полученными при исследовании перемещений и ориентаций оси схвата по различным линиям, а принятое при исследованиях условие $R_2 = \text{const}$ позволяет распространить полученные результаты с приемлемой точностью на объемную (цилиндрическую) зону.

Дальнейшего повышения универсальности ПР с кинематикой руки ВПП можно достичь, если после кинематической пары кисти B' включить в схему еще и ротационную пару B . В этих условиях ПР будет иметь возможность изменять ориентацию оси и плоскости схвата.

Список литературы: 1. Павленко И. И. Основные показатели динамических возможностей роботов. — Вестн. машиностроения, 1980, № 4. 2. Павленко И. И. Конструктивные и кинематические варианты промышленных роботов. — Вестн. машиностроения, 1980, № 11.

Статья поступила 20.04.84